

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI  
(c) 2005 Thomson Derwent. All rts. reserv.

012030965 \*\*Image available\*\*

WPI Acc No: 1998-447875/199839

XRAM Acc No: C98-135905

XRPX Acc No: N98-349120

**Surface micro-mechanical structure production - involves temperature difference control during sacrificial layer vapour phase etching**

Patent Assignee: BOSCH GMBH ROBERT (BOSC )

Inventor: BECKER V; LAERMER F; OFFENBERG M; SCHILP A

Number of Countries: 002 Number of Patents: 003

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
DE 19704454	A1	19980820	DE 1004454	A	19970206	199839 B
DE 19704454	C2	20000302	DE 1004454	A	19970206	200016
US 6558559	B1	20030506	US 9819011	A	19980205	200338

Priority Applications (No Type Date): DE 1004454 A 19970206

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan	Pg	Main IPC	Filing Notes
DE 19704454	A1	6		H01L-021/306	
DE 19704454	C2			H01L-021/306	
US 6558559	B1			C23F-001/00	

Abstract (Basic): DE 19704454 A

In the production of surface micro-mechanical structures by depositing and structuring a sacrificial layer on a heatable silicon substrate, depositing and structuring a second layer on the sacrificial layer and then removing the sacrificial layer by vapour phase etching, the partial pressure composition of the etching medium vapour is used to adjust the temperature difference between the substrate and the etching medium vapour. Preferably, the etching medium is formed by evaporation of an azeotropic hydrofluoric acid/water mixture and its partial pressure composition is adjusted by means of its temperature and/or component composition. The temperature difference is preferably 10-30 (especially 20) deg. K and the substrate temperature is preferably 333-373 (especially 353) deg. K.

ADVANTAGE - The temperature difference adjustment allows control of chemical reactions during etching to provide selective etching of SiO<sub>2</sub> (sacrificial layer material) without attack on exposed aluminium contacts on the substrate.

Dwg.1/2

Title Terms: SURFACE; MICRO; MECHANICAL; STRUCTURE; PRODUCE; TEMPERATURE; DIFFER; CONTROL; SACRIFICIAL; LAYER; VAPOUR; PHASE; ETCH

Derwent Class: L03; M14; U11; U12

International Patent Class (Main): C23F-001/00; H01L-021/306

International Patent Class (Additional): C23F-001/12; C23F-001/14;

C23F-001/24; C23F-004/00; H01L-021/308; H01L-021/311; H01L-049/00

File Segment: CPI; EPI

Manual Codes (CPI/A-N): L04-C07B; M14-A03

Manual Codes (EPI/S-X): U11-C18B9; U12-B03F

?



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Patentschrift  
10 DE 197 04 454 C 2

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
H 01 L 21/306  
C 23 F 4/00  
H 01 L 49/00  
H 01 L 21/311  
H 01 L 21/308

21 Aktenzeichen: 197 04 454.9-33  
22 Anmeldetag: 6. 2. 1997  
43 Offenlegungstag: 20. 8. 1998  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 2. 3. 2000

DE 197 04 454 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

72 Erfinder:  
Becker, Volker, 76359 Marxzell, DE; Laermer, Franz,  
Dr., 70437 Stuttgart, DE; Offenber, Michael, Dr.,  
72138 Kirchentellinsfurt, DE; Schilp, Andrea, 73525  
Schwäbisch Gmünd, DE

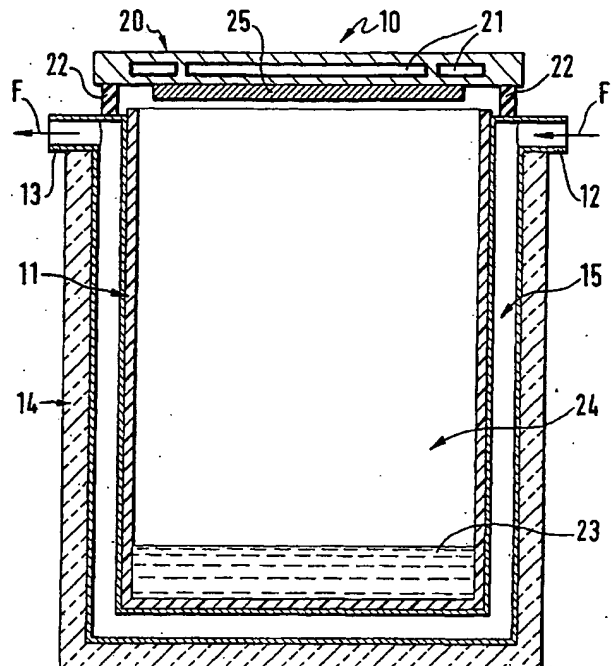
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

WO 92 03 740 A1

OFFENBERG, M. et.al.: Vapor HF Etching for Sacri-  
ficial Oxide Removal in Surface Micromachining.  
In: Proceedings of the 186. Electrochem.Soc.  
Meeting, Sensor General Session, Miami Beach,  
Oct. 1994, Abstract No. 671 (S. 1056-7);  
JP 5-275401 A2. In: Patent Abstracts of Japan,  
E-1497, 26. Jan. 1994, Vol. 18, No. 49;  
WATANABE, H. et.al.: Influence of Water Absorp-  
tion/Desorption Processes on the Selectivity of  
Vapor HF Etching. In: J.Electrochem.Soc.,  
Vol. 142, No. 4, April 1995, pp. 1332-40;  
BIEBL, M.: Adhäsion mikromechanischer  
Strukturen.  
In: Phys. Blätter 52 (1996), Nr. 10, pp. 1010-12;

54 Verfahren zur Herstellung oberflächenmikromechanischer Strukturen mittels Ätzung in der Dampfphase

57 Verfahren zur Herstellung oberflächenmikromechanischer Strukturen, bei dem auf ein beheizbares Silizium-Substrat eine Opferschicht, die zu einem wesentlichen Teil mindestens ein Siliziumoxid enthält, deponiert und strukturiert wird, auf der Opferschicht eine zweite Schicht, auf der aluminiumhaltige Strukturen aufgebracht sind, abgeschieden und strukturiert wird, und die Opferschicht in einem Ätzvorgang durch ein dampfförmiges, fluorwasserstoffsäurehaltiges Ätzmedium entfernt wird, wodurch die oberflächenmikromechanischen Strukturen entstehen, wobei über die Partialdruckzusammensetzung des dampfförmigen Ätzmediums eine Temperaturdifferenz zwischen Substrat und Dampfphase des Ätzmediums eingestellt wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Partialdruckzusammensetzung des Ätzmediums einer Temperaturdifferenz von 10 bis 30 K zum Siliziumsubstrat entspricht und das Siliziumsubstrat eine Temperatur zwischen 333 K und 373 K aufweist, so daß die aluminiumhaltigen Strukturen durch das Ätzmedium nicht angegriffen werden.



BEST AVAILABLE COPY

DE 197 04 454 C 2



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung oberflächenmikromechanischer Strukturen in Silizium mittels eines dampfförmigen flußsäurehaltigen Ätzmediums unter Vermeidung von Aluminium-Kontaktkorrosion gemäß dem Oberbegriff des Hauptanspruches.

In der Silizium-Oberflächenmikromechanik wird auf einer Substratoberfläche, meistens ein Substrat aus Silizium, üblicherweise ein Schichtaufbau verwendet, der aus einer Opferschicht, meist  $\text{SiO}_2$ , und einer darüber befindlichen Lage von aktivem Silizium, meist Polysilizium oder einkristallinem Silizium (SOI), besteht, in der die später freitragenden Strukturen erzeugt werden. Es können noch weitere Lagen, z. B. vergrabene Polysilizium-Leiterbahnen zugegen sein, die jedoch für die rein mechanische Funktion der Bauelemente keine Rolle spielen. Im allgemeinen sind zur elektrischen Kontaktierung der Bauelemente Metallkontaktflächen auf der aktiven Siliziumschicht vorgesehen. Als Kontaktmaterialien haben sich in der Halbleitertechnik, auf deren Repertoire die Oberflächenmikromechanik vorzugsweise zugreift, verschiedene Aluminiumlegierungen ( $\text{AlSi}$ ,  $\text{AlSiCu}$ , etc.) etabliert, wobei Aluminium in diesen Legierungen den größten Anteil hat. Es ist bekannt, daß zur Erzeugung von freitragenden oberflächenmikromechanischen Strukturen diese zunächst in die obere aktive Siliziumschicht eingätzt werden bis zum Erreichen der sich darunter befindlichen sogenannten Opferschicht von zumeist  $\text{SiO}_2$  (M. Bibel, Physikalische Blätter 1996, 52, S. 1010–1012). Zur Freilegung dieser so erzeugten Strukturen wird die Opferschicht beispielsweise durch ein isotropes Naßätzverfahren (WO 92-03740 A1) herausgelöst, wozu man vorteilhaft Fluorwasserstoffsäuredampf über einem konzentrierten (49%) Fluorwasserstoffsäure-Wasser-Gemisch einsetzen kann (M. Offenberger, B. Elsner und F. Lärmer, Proc. 186. Electrochem. Soc. Meeting, Sensor General Session, Miami Beach, Florida, Oktober 1994). Durch HF-Dampf wird bekanntermaßen  $\text{SiO}_2$  zu flüchtigen Siliziumfluoriden umgewandelt und dadurch unter den Strukturen herausgelöst:



Damit die Reaktion ablaufen kann ist die Anwesenheit von Wasser erforderlich. Aus der Reaktionsgleichung ist ersichtlich, daß mehr Wasser gebildet als eingesetzt wird. Der wesentliche Vorteil der Verwendung von Fluorwasserstoffsäuredampf gegenüber wäßrigen Fluorwasserstoffsäurelösungen besteht darin, daß bei der Wahl optimaler Meßparameter kein irreversibles Verkleben der freigelegten Siliziumstrukturen aneinander und mit dem Substrat durch die Oberflächenspannung eintrocknender Flüssigkeitströpfchen beim nachfolgenden Trocknen des Substrats auftritt. Ein wesentlicher Nachteil dieses Dampfätzverfahrens ist, daß durch Fluorwasserstoffsäuredampf nicht nur  $\text{SiO}_2$ , sondern auch die aufgetragenen Aluminiumkontakte der elektronischen Bauelemente angegriffen werden. Bei Ätzung in der Dampfphase können die so erzeugten Aluminiumhydroxidfluoride nicht entfernt werden, sondern verbleiben als eine mehr oder weniger dicke, isolierende Schicht auf der Kontaktoberfläche, was eine nachfolgende Drahtbondung der Aluminiumkontakte unmöglich macht. Ein Abwaschen dieser Schicht hätte wiederum ein Verkleben der bereits freigelegten OMM-Strukturen zur Folge und ist daher ebenfalls unmöglich. Ein weiteres Problem der so entstandenen Aluminiumhydroxidfluoridschichten besteht darin, daß sie hygroskopisch sind, und daß aufgenommenes Wasser an die Zwischenschicht des metallischen Aluminiums zur hydroxidischen Aluminiumfluoridschicht dringt und so zu einem Fortschreiten der Korrosion sowohl während als auch nach Abschluß der Opferschichtätzung führt.

Ein Schutz der Aluminiumkontakte während der Opferschichtätzung durch beispielsweise fluorwasserstoffsäureundurchlässige Zusatzschichten, bestehend beispielsweise aus Lacken, ist prinzipiell möglich, stellt jedoch einen technisch sehr schwierigen und aufwendigen weiteren Arbeitsschritt während des Prozesses zur Herstellung der oberflächenmikromechanischen Strukturen dar, da Fluorwasserstoffsäure sehr schnell durch polymere Schutzschichten diffundiert und so die Metalloberfläche erreichen kann. Darüberhinaus müßte der Kontaktschutz nach der Opferschichtätzung, d. h. wenn bereits freistehende empfindliche Strukturen auf der Waferoberfläche vorliegen, wieder entfernt werden, was zu weiteren Problemen, insbesondere hinsichtlich Ausbeute und Reproduzierbarkeit führt.

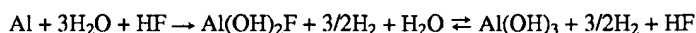
Bei dem aus M. Offenberger, B. Elsner und F. Lärmer, Proceedings of the 186. Electrochem. Soc. Meeting, Sensor General Session, Miami Beach, Oktober 1994, Abstract No. 671, Seite 1056 und 1057, bekannten Verfahren zur Opferschichtätzung von mikromechanischen Strukturen in einer HF-Dampfphase wird eine Temperaturdifferenz zwischen Substrat und Dampfphase des Ätzmediums durch die Vorgabe der Substrattemperatur eingestellt. Dadurch wird gewährleistet, daß der Ätzprozeß ohne "Sticking" abläuft. Weiter ist daraus bereits bekannt, daß die Ätzrate stark von der Wafertemperatur relativ zu der Temperatur des HF-Ätzmediums abhängig ist.

#### Vorteile der Erfindung

Durch die Einstellung einer Temperaturdifferenz zwischen dem Substrat und der Dampfphase des Ätzmediums über die Partialdruckzusammensetzung des dampfförmigen Ätzmediums ist es möglich, daß in besonders vorteilhafter Art die chemischen Reaktionen während der Ätzung kontrolliert werden können. Eine Temperaturdifferenz zwischen Substrat und Dampfphase erlaubt aufgrund der nachstehenden Reaktion nunmehr eine selektive Ätzung von  $\text{SiO}_2$ , ohne offenliegende Aluminiumkontakte auf einem Substrat anzugreifen. Die erste Reaktion, die auf der Aluminiumoberfläche ablaufen kann, ist die folgende:



Im Verlaufe dieser Reaktion bricht das Aluminiumoxidhydrat an der Oberfläche durch. Die Hydroxid- bzw. Hydroxidfluoridschicht ist hygroskopisch. Zunächst wird metallisches Aluminium durch Wasserwirkung unter Einwirkung von Fluorwasserstoffsäure in das Oxidhydrat umgewandelt, daß nachfolgend weiter fluoriert werden kann:

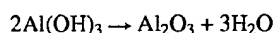
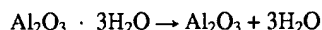


Aluminiumhydroxid und Aluminiumhydroxidfluorid befinden sich in einem reversiblen chemischen Gleichgewicht. Die Umwandlung von Aluminium zum Korrosionsprodukt geschieht im Gegensatz zur SiO<sub>2</sub>-Ätzung, bei der Wasser gebildet wird im wesentlichen unter Wasseraufnahme. Beiden Reaktionen, d. h. der Ätzung von Aluminium und von SiO<sub>2</sub>, ist gemein, daß sie nur in Gegenwart von Wasser ablaufen können. Die Einstellung einer Temperaturdifferenz zwischen Substrat und Dampfphase des Ätzmediums erlaubt es, daß beispielsweise eine rasche Verdampfung des auf der Substratoberfläche gebildeten Wassers erfolgt. Aufgrund der Temperaturdifferenz, die durch die Partialdruckzusammensetzung des dampfförmigen Ätzmediums erfolgt, kann keine Kondensation von Wasser auf dem Substrat stattfinden, und diejenigen Teile der Oberfläche, die bei der Umsetzung mit Fluorwasserstoffsäure kein Wasser produzieren, bleiben trocken und unangreifbar.

Durch die Temperaturdifferenz von 10–30 Kelvin, vorzugsweise 20 Kelvin, zwischen Siliziumsubstrat und dampfförmigem Ätzmedium, wobei die Temperatur der dem Substrat gegenüberstehenden Dampfphase niedriger ist als die Substrattemperatur, wird eine Kondensation auf der Substratoberfläche vermieden. Infolgedessen ist die Substratoberfläche der Dampfphase ausgesetzt, aufgrund der höheren Substrattemperatur kann jedoch keinerlei Kondensation auf dem Substrat stattfinden und diejenigen Teile der Oberfläche, die bei der Umsetzung mit Fluorwasserstoffsäure selbst kein Wasser produzieren können, bleiben trocken und unangreifbar. Dies gilt besonders für das Aluminium der elektrischen Kontaktierungen, welches auch bei einer Umsetzung mit Fluorwasserstoffsäure-H<sub>2</sub>O kein Wasser freisetzt, und infolge des Mangels an Feuchtigkeit daher nicht reagiert. Die SiO<sub>2</sub>-Opferschicht reagiert demgegenüber bei Umsetzung mit HF-H<sub>2</sub>O unter Wasserbildung, das teilweise hydroxidisch in Form von Si(OH)<sub>4</sub> gebunden wird, als Vorstufe zu weiteren Umsetzungen mit HF zu flüchtigem Siliziumtetrafluorid. Der nicht hydroxidisch gebundenen Teil des Reaktionswassers verbleibt relativ kurze Zeit auf der SiO<sub>2</sub>-Oberfläche und wird aufgrund der im Vergleich zur Dampfphase höheren Wassertemperatur rasch abgedampft. In jedem Falle beschleunigt die auch nur vorübergehende Anwesenheit dieses Reaktionswassers die nachfolgende Umsetzung von SiO<sub>2</sub> (bzw. dann Si(OH)<sub>4</sub>) mit HF, was noch mehr Wasser für die Reaktion liefert, bis eine Gleichgewichtsfeuchtigkeit der SiO<sub>2</sub>- bzw. Si(OH)<sub>4</sub>-Flächen herrscht. Dieses Ingangbringen des SiO<sub>2</sub>-Ätzprozesses von anfangs sehr geringem, nur durch das Wasser aus der Dampfphase in Gang gesetzten Abtrag bis hin zu hohen Ätzraten führt dazu, daß eine quasi-stationäre, hohe Siliziumoxidätzrate nach einer Anlaufphase von ca. 5 bis 7 Minuten nach Prozeßstart erreicht wird.

Dadurch, daß die Temperatur des Siliziumsubstrates bei mindestens 333 Kelvin, vorzugsweise 343–353 Kelvin, insbesondere 353 Kelvin und bei höchstens 373 Kelvin liegt, wird gewährleistet, daß es auf den trockenen Aluminiumoberflächen, die kein Reaktionswasser bilden können, nicht durch Wasseraufnahme aus der Gasphase zu einem lawinenartigen Anwachsen der Auflösungsreaktion kommt und folglich auch zu keiner nennenswerten Korrosion. Bei dieser Temperatur treten vorteilhaft weitere Schutzmechanismen für das Aluminium in Kraft, die dazu führen, daß keine Fluoride auf der Oberfläche verbleiben. Damit wird auch eine eventuelle zeitverzögerte Korrosion weit nach der eigentlichen Opferschichtätzung wirksam ausgeschlossen. Die Zuverlässigkeit der so erzeugten Bauteile wird dadurch entscheidend verbessert.

Auf der Oberfläche vorhandenes Aluminiumoxidhydrat, Aluminiumhydroxid bzw. Aluminiumhydroxidfluorid wird dehydriert, d. h. das Kristallwasser bzw. Wasser in Form von Hydroxiden, ggf. auch HF wird entfernt: Fluor in Form seiner Fluoride wird damit aus der Oberflächenschicht vollständig entfernt.



Bei dieser Dehydratation tritt eine strukturelle Verdichtung der die Aluminiumoberfläche passivierenden Schicht auf, d. h. deren Porendichte und Durchlässigkeit nimmt ab, ihre Dichtigkeit und Passivierung gegenüber Wasser und HF zu. Die chemische Widerstandsfähigkeit der die Aluminiumoberfläche passivierenden Schicht, d. h. ihre Schutzwirkung, wird dadurch besonders erhöht, indem chemisch stabilere und inerte Verbindungen, beispielsweise Aluminate, gebildet werden. Dieser Effekt ist besonders wirksam ab einem Temperaturbereich von 343 K–353 K. Bis zu einer Substrattemperatur von 373 K kann immer noch eine starke SiO<sub>2</sub>-Ätzung durchgeführt werden, wobei keine Al-Kontaktkorrosion auftritt. Bei Temperaturen im bevorzugten Temperaturbereich von 343–353 K, besonders bevorzugt bei 353 K, tritt keine Fluorierung der Aluminiumoberfläche mehr auf, d. h. die Aluminiumoberflächen enthalten nach der Ätzung keine Fluoratome oder -ionen.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in den Unteransprüchen erläutert.

So wird in einer weiteren bevorzugten Ausführung die Dampfphase derart eingestellt, daß ein weiteres, unter den gewählten Reaktionsbedingungen im wesentlichen chemisch inertes Gas verwendet wird, welches in der Ätzvorrichtung eingeleitet wird. Die Einstellung eines "quasi-azeotropen" Gemisches wird so in einfacher Weise über die Befeuchtung dieses Gases geregelt. Das chemisch inerte Gas zur Verdünnung kann auch Sauerstoff enthalten, so daß auch Luft eingesetzt werden kann.

#### Zeichnung

Es zeigen:

Fig. 1 eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 2 eine weitere Ausgestaltung des Deckels der Vorrichtung in Fig. 1.

Fig. 1 zeigt einen Behälter 11 aus beispielsweise Teflon, der eine azeotrope Fluorwasserstoffsäure-Wassermischung 23 enthält und in dem ein Siliziumsubstrat 25 angeordnet ist. Jener ist vollständig umgeben von einem Heizmantel 15, durch den beispielsweise Wasser von wählbarer Temperatur von einem nichtdargestellten Thermostaten im Kreislauf gepumpt wird. Dadurch wird die Temperatur des Teflonbehälters 11 und der azeotropen Fluorwasserstoffsäure-Wassermischung 23 auf den gewünschten Wert stabilisiert. Natürlich ist an dieser Stelle jede andere Art von Heizung, z. B. elektrische Heizbänder, Heißluftgebläse, Heißwassermäntel, etc. denkbar. Wesentlich ist nur, daß die Wände des Teflonbehälters 11 und die Fluorwasserstoffsäure-Wassermischung 23 gleichmäßig auf identische Temperatur gebracht werden können, so daß Kondensation von Feuchtigkeit an den Wänden vermieden und eine besonders homogene Dampfphase erzeugt werden kann.

Der Teflonbehälter 11 weist einen Einlaß 12 und einen Auslaß 13 auf, durch den in Richtung des Pfeiles, der mit F gekennzeichnet ist, beispielsweise Wasser von wählbarer Temperatur geleitet werden kann. Der Teflonbehälter 11 und der Heizmantel 15 sind in einem Isolationsmantel 14 angebracht, so daß die Temperatur innerhalb des Teflonbehälters 11 konstant gehalten werden kann. Der Teflonbehälter 11 wird von einem Deckel 20 abgeschlossen, der Dichtungen 22 aufweist, die beispielsweise aus Teflon oder Viton oder sonstigem Dichtungsmaterial gefertigt sind, welches resistent gegen Fluorwasserstoffsäuredampf ist. In diesem Deckel 20 ist eine Heizvorrichtung 21 angebracht, so daß auch das auf der Innenseite des Deckels 20 angebrachte Siliziumsubstrat 25 beheizt werden kann. Damit kann das Siliziumsubstrat 25 auf die gewünschte hohe Temperatur von beispielsweise 330 bis 373 Kelvin, vorzugsweise 353 K gebracht werden. Die Heizvorrichtung 21 kann wieder ein Heißwasserkreislauf sein, oder man verwendet nicht dargestellte elektrische Heizfolien in Verbindung mit einem Thermoelement und einem elektronischen Temperaturregler.

Da die Substrattemperatur einen unmittelbaren Einfluß auf die  $\text{SiO}_2$ -Ätzrate hat, muß eine möglichst gleichmäßige Temperaturverteilung über die Substratfläche 25 erreicht werden. Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird dies mit zwei nicht dargestellten Heizfolien, einer inneren kreisrunden, und einer äußeren ringförmigen erreicht, die unabhängig voneinander elektrisch angesteuert werden können. Durch entsprechende Dosierung der Heizleistung von innerem Folienelement und äußerem Folienring kann eine sehr gleichmäßige Temperaturverteilung über die Substratfläche 25, beispielsweise einem 6"-Siliziumwafer, erreicht werden mit einer Uniformität von besser als einem Kelvin Temperaturdifferenz. Das Material der Heizvorrichtung 21 kann Silizium sein, das über eine gute Wärmeleitfähigkeit verfügt und gegenüber Fluorwasserstoffsäuredampf stabil ist.

Alternativ kann auch eine Teflonplatte eingesetzt werden, die entweder Heizelemente trägt, oder die mit einem Kanalsystem versehen wird, das wiederum von Heißwasser von frei wählbarer Temperatur über einen zweiten Thermostaten durchströmt wird.

Fig. 2 zeigt eine weitere mögliche Ausgestaltung des Deckels 20 der Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Dabei wird das Siliziumsubstrat 25 nicht kopfüber gegen eine obere Heizplatte 20 geklemmt, sondern auf eine untere beheizte Substratplatte 27 gelegt, die mit der oberen verbunden ist. Die Substratplatte 27 enthält eine der beschriebenen Heizungsanordnungen 21. Der Deckel 20 wird durch Heizelemente 21 beheizt, um die Kondensation von HF-Dampf zu vermeiden. Die Temperatur der Heizplatte 27, die das Siliziumsubstrat 25 trägt, wird kontrolliert und weist eine homogene Verteilung über die Substratoberfläche auf. Die Heizplatte 27 und die Deckelplatte 20 sind über beispielsweise mindestens zwei hohle Teflonstege 26 miteinander verbunden. Bei elektrischen Heizelementen 21 werden die elektrischen Stromzuführungen sowie die elektrische Verbindung nach außen in Form von nicht dargestellten Drähten durch die hohlen Stege geführt, so daß keine Fluorwasserstoffsäure an die Drähte kommt. Bei einer Heißwasserheizung 21 durchströmt Heißwasser die Heizspirale 21 von Deckel- und Waferheizplatte durch die hohlen Stege 26.

Als Fluorwasserstoffsäure-Wassergemisch 23 wird vorteilhaft ein azeotropes Gemisch gewählt, d. h. ein Gemisch mit einer HF-Konzentration von ungefähr 38%. Bei einem azeotropen Gemisch wird Wasser und HF in einem konstant bleibenden Verhältnis verdampft, so daß die Konzentration der Lösung über eine lange Zeit konstant bleibt, d. h. die Fluorwasserstoffsäurekonzentration bleibt mit schwindender Menge der Lösung unverändert. Damit liegen konstante Dampfätzbedingungen für viele zu behandelnde Substrate über einen langen Zeitraum vor, was zu einer guten Reproduzierbarkeit und sehr geringem Wartungsaufwand führt.

Das zu behandelnde Siliziumsubstrat 25 wird zunächst in den Deckel 20 eingesetzt und durch einen nicht dargestellten Teflonhalter festgeklemmt. Nach einer Wartezeit von z. B. 2 bis 5 Minuten, um dem Wafer Zeit zu geben, sich auf die vorgewählte Temperatur der Heizvorrichtung 21 aufzuheizen, wird die Vorrichtung abgedeckt, und der das Substrat tragende beheizbare Deckel 20 statt dessen aufgesetzt. Mit einer Anlaufphase von etwa 5 Minuten erfolgt nun die Entfernung der  $\text{SiO}_2$ -Opferschicht unter den freizulegenden Strukturen. Nach einer Prozeßzeit von typischerweise 20 Minuten ist eine Unterätzweite von 5  $\mu\text{m}$  erreicht und der Prozeß wird beendet. Dazu wird der das Substrat 25 tragende beheizbare Deckel 20 von der Ätzvorrichtung abgenommen und diese wieder zugedeckt. Das Siliziumsubstrat 25 bleibt noch einige Minuten im beheizten Deckel 20, damit HF-Reste und eventuell Feuchtigkeit restlos entfernt werden. Damit wird einer nachfolgenden Korrosion vorgebeugt. Nach dieser Wartezeit wird das Siliziumsubstrat 25 aus der Vorrichtung genommen und den auf die Opferschichtätzung folgenden Prozessen zugeführt.

Bei dem in Fig. 2 dargestellten Deckel 20 wird das Siliziumsubstrat 25 einfach auf die Heizplatte 27 ohne weitere Klemmung aufgelegt, den Kontakt besorgt die Schwerkraft. Damit ist das Be- und Entladen der Vorrichtung besonders vereinfacht.

In einer weiteren, nicht dargestellten Vorrichtung wird die Einstellung einer definierten Dampfphase d. h. einer Dampfphase mit konstanten Bedingungen, die zu einer Temperatur im Gleichgewicht steht, die niedriger ist als die Temperatur des Substrates, dadurch erreicht, daß beispielsweise Stickstoff oder Sauerstoff oder Luft über einen wassergekühlten Bubbler befeuchtet wird und in die Ätzvorrichtung 10 eingeleitet wird. Selbstverständlich kann auch jedes andere, unter diesen Bedingungen chemisch im wesentlichen inerte Gas, wie Argon etc. verwendet werden. In diesem Falle ist die Apparatur kein geschlossenes System, sondern wird von den Gasen kontinuierlich durchströmt. Der Wasservorrat



im Stickstoffbubbler wird auf diejenige Temperatur erhitzt, zu der die gebildete Dampfphase im Gleichgewicht stehen soll. Die Stickstoffströmung bzw. die Blasengröße im Bubbler muß so bemessen werden, daß sich auch tatsächlich ein Gleichgewicht in der Gasphase ausbilden kann. Während über den Stickstoffstrom und die Bubbler Temperatur die Gleichgewichtstemperatur der Gasphase eingestellt wird, wird über den unabhängig zugeführten Strom von trockener Fluorwasserstoffsäure direkt die  $\text{SiO}_2$ -Ätzrate gesteuert. Es ist auch möglich, über eine weitere nicht dargestellte Vorrichtung einen zusätzlichen Strom von trockenem Stickstoff zuzuführen und die Feuchtigkeit der Gasphase damit wieder zu reduzieren.

In einer weiteren, nicht dargestellten Vorrichtung läßt sich insbesondere der Stofftransport zum Substrat kontrollieren und beeinflussen. Ein höherer Fluß von Fluorwasserstoffsäure führt entsprechend unter sonst gleichen Randbedingungen zu einer höheren, ein niedrigerer Fluß von Fluorwasserstoffsäure zu einer niedrigeren  $\text{SiO}_2$ -Abtragsrate. Dabei muß sichergestellt werden, daß das entstehende Reaktionswasser noch schnell genug abgedampft werden kann, damit sich keine großen Tröpfchen bilden können, welche die entstehenden oberflächenmikromechanischen Strukturen untereinander und zum Substrat hin irreversibel verkleben würden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung oberflächenmikromechanischer Strukturen, bei dem auf ein beheizbares Silizium-Substrat eine Opferschicht, die zu einem wesentlichen Teil mindestens ein Siliziumoxid enthält, deponiert und strukturiert wird, auf der Opferschicht eine zweite Schicht, auf der aluminiumhaltige Strukturen aufgebracht sind, abgeschieden und strukturiert wird, und die Opferschicht in einem Ätzvorgang durch ein dampfförmiges, fluorwasserstoffsäurehaltiges Ätzmedium entfernt wird, wodurch die oberflächenmikromechanischen Strukturen entstehen, wobei über die Partialdruckzusammensetzung des dampfförmigen Ätzmediums eine Temperaturdifferenz zwischen Substrat und Dampfphase des Ätzmediums eingestellt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Partialdruckzusammensetzung des Ätzmediums einer Temperaturdifferenz von 10 bis 30 K zum Siliziumsubstrat entspricht und das Siliziumsubstrat eine Temperatur zwischen 333 K und 373 K aufweist, so daß die aluminiumhaltigen Strukturen durch das Ätzmedium nicht angegriffen werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Ätzmedium durch Verdampfen eines im wesentlichen azeotropen Fluorwasserstoffsäure-Wassergemisches erzeugt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Ätzmedium ein im wesentlichen chemisch inertes Gas enthält.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß als inertes Gas Stickstoff verwendet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Partialdruckzusammensetzung des Ätzmediums über die Temperatur des Ätzmediums eingestellt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Partialdruckzusammensetzung des Ätzmediums über die Zusammensetzung der Bestandteile der Dampfphase eingestellt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Partialdruckzusammensetzung des Ätzmediums über die Temperatur des Ätzmediums und über die Zusammensetzung der Bestandteile der Dampfphase eingestellt wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen



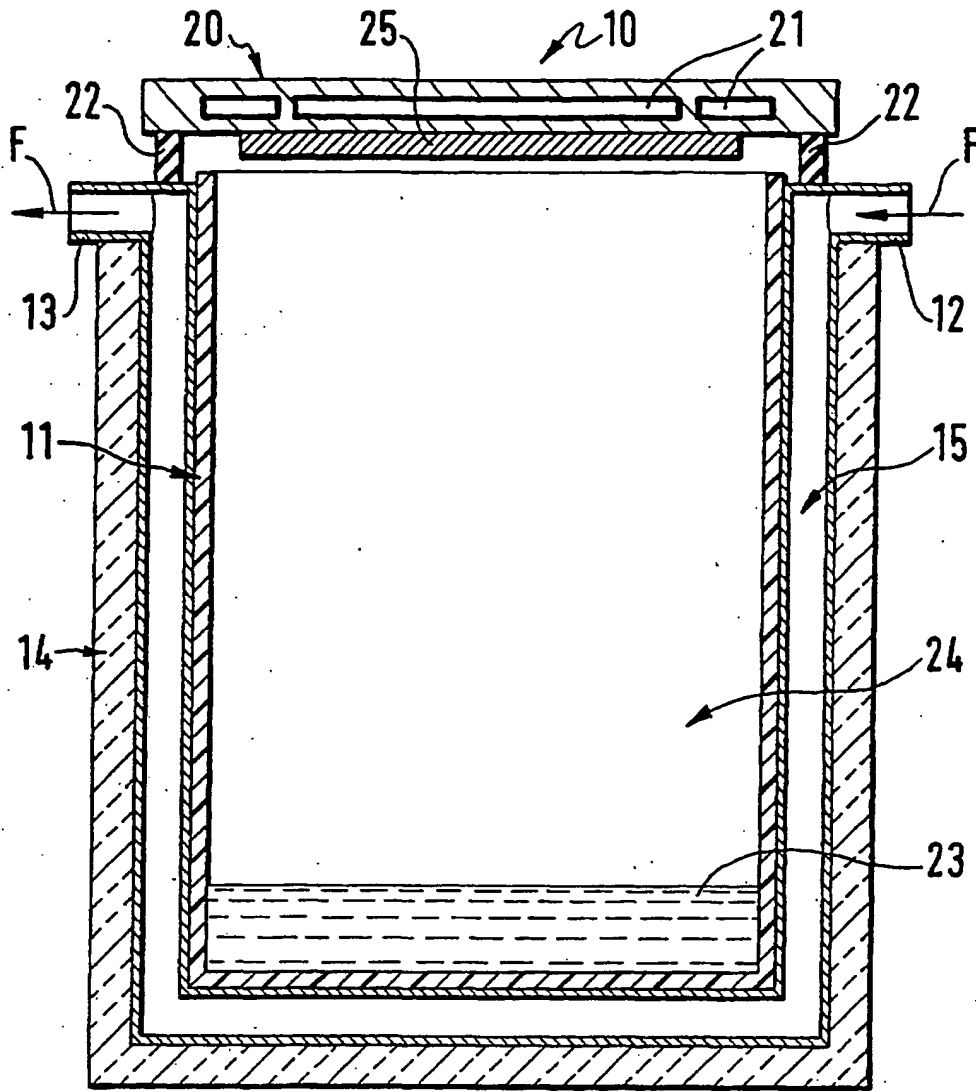


FIG. 1

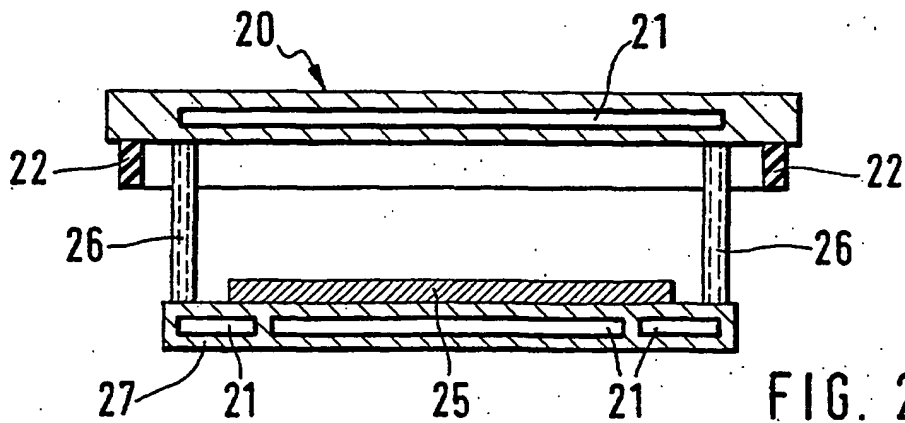


FIG. 2